



LA CUPULA DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA, DEFINICIÓN CONSTRUCTIVA Y SEGURIDAD ESTRUCTURAL

THE DOME OF LA LAGUNA CATHEDRAL, CONSTRUCTIVE DEFINITION AND STRUCTURAL SAFETY

Hugo A. Ventura Rodríguez *, Vicente Mirallave Izquierdo, Nelson Flores Medina*****

Cómo citar este artículo/Citation: Ventura Rodríguez, H.A.; Mirallave Izquierdo, V.; Flores Medina, N. (2021). La cúpula de la Catedral de La Laguna, definición constructiva y seguridad estructural. *XXIV Coloquio de Historia Canario-Americana* (2020), XXIV-139. <http://coloquioscanariasamerica.casadecolon.com/index.php/CHCA/article/view/10753>

Resumen: En el año 1904 comienza el proceso para reconstruir la Catedral de La Laguna. La falta de arquitectos con conocimientos de la técnica del cemento armado obligó al Cabildo Catedralicio a contratar a un ingeniero militar. El teniente Rodrigo-Vallabriga asume el reto de proyectar y construir un templo en cemento armado, convirtiéndose en el pionero del hormigón en Canarias. La catedral se pudo hacer en un tiempo record, solo ocho años. La escasez de recubrimientos, una inadecuada puesta en obra y un incorrecto mantenimiento obligaron a su demolición al siglo de su construcción. Esta obra pionera abrió el camino al hormigón armado en Canarias. La obra declarada Monumento histórico en el año 1983, tuvo que ser desafectada para ser demolidas sus cubiertas. La cúpula de esta catedral resulto el elemento más dañado y el motivo por el que, finalmente se demolió la totalidad de la cubierta.

Palabras clave: hormigón armado, patrimonio, historia, tecnología, construcción, estructuras, cúpula.

Abstract: In 1904 begins the process to rebuild the Cathedral of La Laguna. The lack of architects with enough knowledge of the reinforced cement technique forced to the Cathedral Council to hire a military engineer. Lieutenant Rodrigo-Vallabriga takes on the challenge of designing and building a temple in reinforced concrete, becoming the pioneer of this technique in the Canary Islands. The cathedral could be done in record time, only eight years. The shortages of coating thicknesses, an inadequate concrete work and an incorrect maintenance forced its demolition a century after finished. This pioneering work opened the way to reinforced concrete in the Canary Islands. The work declared a Historic Monument in 1983, had to be unaffected to be demolished its roofs. The dome of the cathedral was the most damaged part and the reason for the demolition of all the roofs.

Keywords: reinforced concrete, architectural heritage, history, technology, construction, dome..

INTRODUCCIÓN

En noviembre de 1904 el teniente de ingenieros José Ángel Rodrigo-Vallabriga y Brito, recibe el encargo de construir una catedral sobre la antigua iglesia de Nuestra Señora de los Remedios de La Laguna, Tenerife. Desde 1900, cuando se incorpora a su destino en Las

*Profesor de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. Teléfono: +34 677511882; correo electrónico: hugo.ventura@ulpgc.es

** Profesor de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. Teléfono: +34 629643536; correo electrónico: vicente.mirallave@ulpgc.es

*** Profesor de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. Teléfono: +34 647107386; correo electrónico: nelson.flores@ulpgc.es



Palmas, su actividad como técnico y contratista de obras de «cemento armado» en la isla de Gran Canaria le había procurado un prestigio tal, que el obispo de la Diócesis de Tenerife, Rey Redondo, le encarga el proyecto y la construcción de la Catedral. La obra se concluye en un plazo muy ajustado, finalizándose en el verano de 1913 a pesar de las grandes dificultades económicas con las que tuvo que ser ejecutada¹.



Figuras 1a y 1b. Interior de la Catedral de La Laguna.²

El templo, declarado Monumento Histórico en el año 1983, tuvo que ser cerrado en el año 2002, noventa años después de su finalización. Graves problemas de corrosión de las armaduras de las cubiertas, estaban ocasionando peligrosas caídas de trozos de recubrimientos al interior de la Iglesia³. El estado de la estructura, finalmente, aconsejó la demolición parcial, afectando esta a la totalidad de las cubiertas y los capiteles de las columnas, por ser las zonas más afectadas por la degradación. La cúpula y los arcos torales sobre los que se apoyaba eran los elementos más dañados y los que, finalmente, condicionaron la decisión. La demolición comenzó en diciembre de 2009.

El Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja realizó desde 1999 hasta 2008 un importante estudio sobre el estado de conservación de la estructura y sus materiales, que se concretó en un total de ocho informes que nos han permitido conocer datos significativos de los

1 DARIAS (1997), p. 272.

2 FOTOTECA DEL PATRIMONIO HISTÓRICO. Autor Passaporte, A., 1931.

3 MÁRQUEZ ZÁRATE (2005), p. 40.

materiales utilizados y de la manera de construir esta estructura, sin duda pionera en el uso del hormigón armado en España.

LA RUINA DEL TEMPLO EN 1897 Y LA NECESIDAD DE SU RECONSTRUCCIÓN

Siete años antes del encargo a Vallabriga, en 1897, el templo original fue cerrado al culto debido a la precaria situación en la que se encontraba la edificación. Un informe del arquitecto diocesano Antonio Pintor recomendó su cierre. La cúpula de piedra construida en 1752, llevaba casi un siglo dañando las columnas que la sustentaban, las cuales presentaban desplomes y grietas.



Figura 2. El Ingeniero militar Julio Cervera realizando una inspección para proceder al apeo de la estructura.⁵

El ingeniero militar Julio Cervera, a finales de 1897, realiza un detallado estudio para ejecutar un apeo provisional de la zona afectada. Explica Cervera en su informe⁶, la razón de la ruina de esta parte del templo: la cúpula que tiene un espesor excesivo apoyaba mediante cuatro arcos torales de piedra basáltica en cuatro pilares, y «*los dos anteriores, aislados no se hallan contruidos con sillares interpuestos de lechos horizontales, sino mas bien parecen restos de muros anteriores que han sufrido transformaciones*».

Varios intentos de reconstrucción, entre ellos uno del arquitecto Manuel de Cámara y Cruz (1848-1921) y otro del vallisoletano Mariano Estanga Arias-Girón (1867-1937), no prosperan por diversas razones. Entre tanto, el deterioro llega al punto que Antonio Pintor emite un nuevo informe, indicando que la ruina del templo va mas allá del cimborrio, por lo solo podrá salvarse

4 DARIAS (1997), p. 200.

5 ARCHIVO HISTORICO DIOCESANO DE TENERIFE, FONDOS DE LA CATEDRAL.

6 Cervera, Julio. Proyecto de obras provisionales para el apeo, Fondos de la Catedral, AHDT.

la fachada. Esta circunstancia ponía en serio peligro la ejecución de reconstrucción del templo por la inexistencia presupuesta para acometerla.

En el año 1904, el Coronel de Ingenieros Ángel María Rosell, destinado en Tenerife, propone a la Diócesis construir la catedral en un nuevo material: el cemento armado, esta solución permitiría reducir notablemente el coste de la obra y disminuir el tiempo de ejecución del templo. El hormigón armado, o cemento armado, como habitualmente se le denominaba, comenzaba en esos años a ser utilizado como material para las estructuras, si bien era más del gusto de los ingenieros que de los arquitectos, quizás más condicionados estos por la tradición cultural y constructiva.

Rosell junto con, los también ingenieros militares, Juan Ramón Sena y José Espejo Fernández realizan varias propuestas, siendo finalmente Sena el designado para redactar un proyecto para el templo en hormigón armado⁷. El proyecto respetaba la fachada neoclásica existente y la capilla mayor y proponía una nueva cúpula en hormigón, que el propio Sena admitía haber tomado de los planos hechos por Mariano Estanga, si bien la de este era en piedra.

LA IMPORTANCIA DE LA OBRA EN EL CONTEXTO DEL HORMIGÓN ARMADO EN ESPAÑA

El empleo del hormigón armado en España arranca con un cierto retraso en relación al resto de Europa, introduciéndose fundamentalmente con las patentes de Monier y Hennebique, la primera en Cataluña y la segunda en el norte de la península.

Las primeras obras con estructura de hormigón en España fueron depósitos de aguas: el depósito de Puigverd de 1893, de Francesc Maciá y Llussa (1859-1933), ingeniero militar formado en la Academia de Guadalajara, el depósito de Aguas de Llanes de José Ribera, de 1899 y fabricas de cereales (Ayala en Badajoz de Ribera de 1899 o la Ceres en Bilbao de 1900). Obras de referencia, tales como la Cárcel Modelo de Oviedo de José Ribera (1898 o la Alhondiga de Bilbao (1906) ⁸son coetáneas con la Catedral de La Laguna.

El templo catedral de la Laguna fue la primera catedral del mundo en construirse en este material, el propio Vallabriga con motivo de la finalización de las obras, en un artículo publicado en La Gaceta de Tenerife, el 21 de agosto de 1913, escribe: «... *en honor a la verdad debemos decir que es la primera Catedral de hormigón armado construida, la que en menos tiempo ha visto su terminación y la más barata del mundo*».

Coetánea con el templo de la Laguna, pero de menores dimensiones, la primera iglesia de cemento armado, según todas las referencias estudiadas, fue San Jean de Montmartre del arquitecto Anatole de Baudot, discípulo de Viollet-Le-Duc, el cual colaboró con el ingeniero Paul Cottancin, gran precursor en el uso del hormigón armado. La iglesia finalizó su construcción en 1904. La estructura es una combinación de muros y pilares de ladrillo armado y bóvedas nervadas de hormigón ⁹.

EL INGENIERO MILITAR JOSÉ RODRIGO VALLABRIGA Y BRITO

Con los planos de Sena aceptados, surge un imprevisto: no existen en la isla de Tenerife

⁷ DARIAS (1997), p. 213.

⁸ BURGOS NÚÑEZ (2009).

⁹ FRAMPTON (1999), p. 60-61.

empresas especializadas capaces de ejecutar esa obra de hormigón. A través del Coronel Rosell el provisor Luis Palahí entra en contacto con una empresa constructora radicada en Madrid: Sociedad de Aplicaciones de la Ingeniería¹⁰, cuyo director era el también ingeniero Militar Eduardo Gallego Ramos, conocido especialista y gran divulgador del hormigón armado a través de sus publicaciones en la conocida revista «La Construcción Moderna» de la que fue codirector.

La negociación con la empresa Sociedad de Aplicaciones de la Ingeniería resulto fallida toda vez que no se alcanzó un acuerdo económico para la obra. En ese momento, el coronel Rosell propone una alternativa: contratar al teniente Rodrigo Vallabriga, un militar afincado en la isla de Gran Canaria, conocido de Rosell, y que tenía gran experiencia en obras de hormigón¹¹.

Vallabriga nacido en Cuba en el año 1876, debido al destino militar de su padre, se formó en la Academia de Ingenieros de Guadalajara, donde se licencia como teniente en el año 1899¹², al igual que los referidos Julio Cervera, Eduardo Gallego Ramos o Francesc Maciá. En 1900 se incorpora a la Compañía Regional de Zapadores con sede en Las Palmas, ciudad donde residía su familia, compatibilizando sus responsabilidades castrenses con una importante actividad como constructor privado, actividad que le procuró una notable fama de especialista en obras de hormigón.

La figura de Vallabriga posibilitaba no solo resolver el proyecto técnico, sino también asumir la construcción de la obra, pues el militar contaba con una contrata de obreros especializada en cemento armado, cuya taller de la calle Castillo 14 de la ciudad de Las Palmas¹³ estaba situado a escasos 200 metros de la Catedral, obra que probablemente sirvió de modelo para el desarrollo del nuevo proyecto.

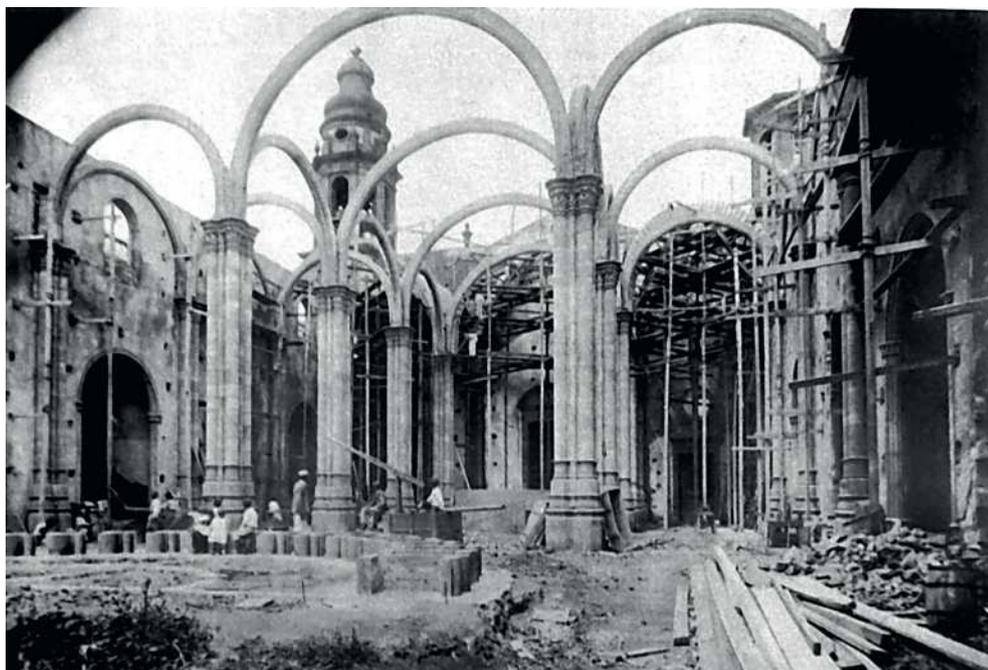


Figura 3. Construcción del templo, año 1908. ¹⁴

10 AHDT, Legajos de la Catedral.

11 DARIAS (1997), p. 217.

12 DARIAS (1990), p. 9.

13 Diario de Las Palmas (1905).

14 DARIAS (1997).

En noviembre de 1904, Palahí envía el proyecto del ingeniero Sena a Las Palmas. En apenas dos meses, el cinco de enero de 1905 Vallabriga entrega en Tenerife los primeros planos, que son aprobados y se le firma el contrato¹⁵. El templo fue concebido como neogótico en su interior y se conservó solamente la fachada neoclásica del siglo XIX. Vallabriga mantiene la propuesta de organización en planta de Sena, sin embargo cambia la solución de cubiertas planas y proyecta las mismas con bóvedas de crucería de hormigón armado, manteniendo la solución de cúpula de hormigón armado de Sena, si bien la altura de la misma subía hasta coronar una altura de 30 metros, cinco más que la propuesta de aquel, destacando la mayor esbeltez de la estructura propuesta, tanto en las columnas como en las secciones de la cúpula.

Vallabriga, en un artículo publicado en el periódico La Gaceta de Tenerife el 21 de agosto de 1913, con motivo de la inauguración, escribe: «*Me ha sido impuesto un diámetro exagerado en las cuatro columnas que sostienen la cúpula. El recuerdo de la catástrofe del tercer depósito de Madrid y la relativa novedad del cemento armado en La Laguna, contribuyeron a que no me fuera admitido mi proyecto de columnas más delgadas y hoy su excesiva masa, privará a muchos fieles establecidos en las naves laterales contemplar las ceremonias religiosas en el altar mayor*».

DESARROLLO DE LA OBRA

La obra comienza el 6 de septiembre de 1905 con el replanteo de la pared exterior¹⁶. Vallabriga trae su equipo de obreros desde Gran Canaria ante la falta de trabajadores que conocieran esta nueva técnica en Tenerife¹⁷.

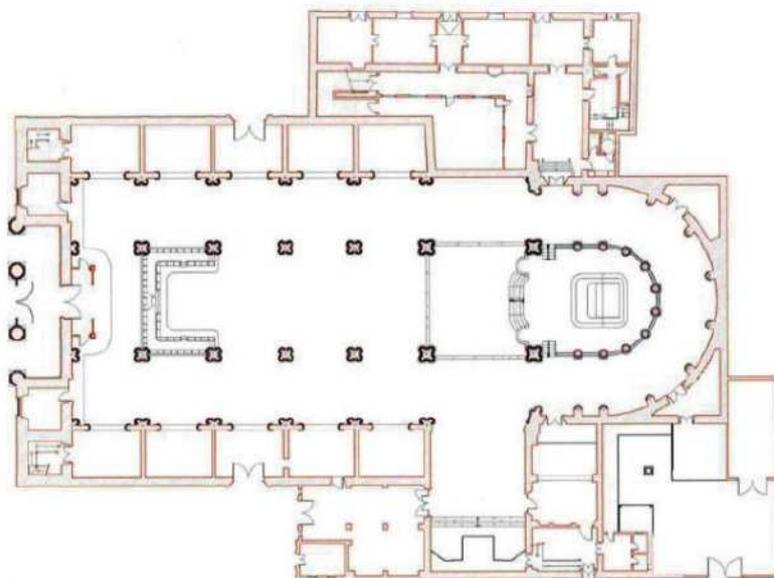


Figura 4. Planta del Templo según plano del arquitecto José Miguel Márquez Zarate, autor del proyecto de reconstrucción de la catedral¹⁸

15 DARIAS (1997), p. 218.

16 RODRÍGUEZ MOURE (1914), DARIAS (1997) p. 233.

17 DARIAS (1997), p. 244.

18 MÁRQUEZ ZÁRATE (2005).

A finales de 1906 Vallabriga trabaja en la modificación del proyecto para reconstruir la capilla mayor, demoliendo la antigua capilla, solución que no estaba incluida en el primer proyecto. Un deambulatorio semicircular proyectado como prolongación de las naves laterales, conforman el ábside y el presbiterio con el altar mayor¹⁹.

En los planos de reforma para la remodelación de la capilla mayor, Vallabriga mantiene el remate de la cubierta que se viene arrastrando del proyecto de Mariano Estanga, sin embargo en algún momento de la obra se decide la ejecución de una linterna y un cruz de hormigón como remate de la cúpula, alcanzando la edificación la altura de casi 40 metros.

El cierre de la cúpula y con ello la finalización de la estructura se produce el 8 de julio de 1911, esto es 6 años después del comienzo de obra, finalizándose el templo en su totalidad, en enero de 1913, si bien la inauguración oficial se realizó en septiembre de ese año. La obra alcanzó un presupuesto de unas 450.000 pesetas²⁰.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO: ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El templo, tenía unas dimensiones de 25,50 de ancho en las tres naves principales, las laterales de 7,33 metros y la central de 11 metros más dos cuerpos de capillas a cada lado ejecutadas con mampostería y con anchos de cinco metros, que servían de arriostramiento a la edificación.

Las naves se cubrieron con láminas de hormigón armado resueltas con bóvedas de crucería, esto es cúpulas esféricas seccionadas por los arcos diagonales que parten de las columnas. Las losas de hormigón armado se ejecutaron con espesores de 10-12 centímetros con una capa de armado central [3]. Los arcos torales y los arcos diagonales de las bóvedas tienen secciones de 30 x 30 cm. La nave central tiene una altura de 17,50 metros y las naves laterales de 16 metros.

Las columnas, de diez metros de alto, se levantaron con moldes de cemento armado ejecutados a pie de obra, utilizando la misma técnica que se realizaba en la época para la realización de maceteros y otras piezas prefabricadas de hormigón. Los moldes de 40 centímetros de alto y diez centímetros de espesor, armados, eran usados como encofrados perdidos. Las juntas horizontales entre moldes y el color del hormigón, le confirieron a la estructura la apariencia de una tradicional sillería de piedra: el molde perdido consta de dos capas: una exterior de 3 o 4 cm ejecutada con un mortero muy seco de color más oscuro, probablemente proyectado, que asemeja con gran acierto, a la piedra basáltica y el resto un hormigón vertido. Las columnas de las naves tienen un ancho total de 105 cm. y las del crucero de 130 cm, las de la girola, circulares, tienen 65 centímetros de diámetro. Todas disponen de nervaduras de trazo vertical que le confieren una cierta «apariencia neogótica» al interior del templo.

Igualmente los arcos presentan esa primera capa del mismo mortero, aquí no hay juntas, que se proyecta previamente contra el molde, posiblemente metálico dado la forma tan precisa de la sección de los arcos. Al igual que en los pilares, en los arcos no se dispusieron estribos ni ningún otro tipo de atado vertical, por esta razón las armaduras longitudinales carecen de una posición precisa en sección. Las armaduras son diámetros 25 mm en ambas secciones, las dimensiones y disposición de las armaduras, se pudo determinar a partir la toma de datos de los capiteles situados en un parque de la ciudad de La Laguna.

19 DARIAS (1997), p.238.

20 DARIAS (1997), p. 272.

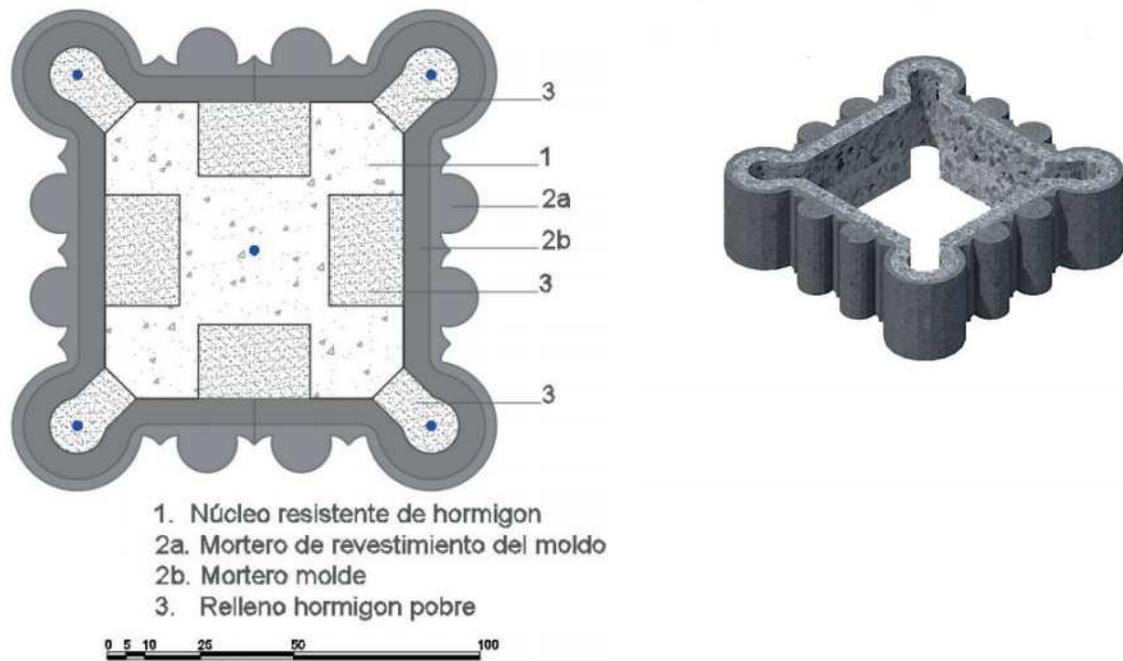


Figura 5a: Detalle sección columna del crucero. **Figura 5b:** Moldes prefabricados a pie de obra en hormigón. Dibujos de Hugo A. Ventura Rodríguez.

En la imagen anterior, una sección de la columna del crucero con un ancho total de 130 cm. La posición y el número de armados, diámetros de 25 mm es la real. De color más oscuro, las dos capas que conforman el molde prefabricado con un espesor de 10 cm. Interiormente el núcleo de hormigón resistente y con una sola barra de acero de 25 mm diámetro solo supone el 30% del área total de la columna.



Figura 6a y 6b. Detalle de la moldura prefabricada y de columna de crucero. Restos de la Catedral. Fotografía de Hugo A. Ventura Rodríguez.

El interior de las nervaduras de las esquinas se rellenaba en una segunda fase posterior al hormigonado del núcleo central. Igualmente se aprecia, tanto en el dibujo de la columna del crucero, como en la fotografía superior, cuatro rectángulos que también fueron hormigonados en una segunda fase con mortero bastardo. Probablemente, se disponían en estos huecos, elementos metálicos que hacían la función de encofrado del hormigón vertido y guía para el aplomado de los moldes, al tiempo que podrían evitar empujes excesivos del hormigón fresco sobre los moldes y permitir la colocación de las armaduras de espera de los arcos.



Figura 7. Construcción del templo, año 1908. ²¹

La fotografía superior, reflejan el estado de la obra en el año 1908. En este momento se habían ejecutado ya la totalidad de las columnas de las naves. Se ejecutaron primero los arcos torales de las naves previamente a las bóvedas de crucería. Igualmente se puede observar los moldes o encofrados perdidos de hormigón armado ejecutados en el suelo y preparados para las columnas del crucero, dos semi-moldes por columna. Se aprecia que están ejecutadas todas las columnas de la girola. Se está construyendo el encofrado para las bóvedas de crucería de las naves. Los muros de cerramiento se construyeron con fábrica.

Descripción constructiva de la cúpula y el cimborrio

La cúpula responde al esquema tradicional de cúpula sobre tambor, pechinas y linterna. Se trata de una cúpula semiesférica con un radio de 5.4 metros, en la clave se sitúa la linterna, con ocho columnas sobre las que descansa una pequeña cúpula. Sobre esta, se posiciona una cruz de hormigón armado de casi cuatro metros de altura. El conjunto de la linterna con la cruz tiene altura de casi 10 metros.

El tambor, y consecuentemente la cúpula, apoya sobre cuatro arcos torales de directriz semicircular y sección 75x50 centímetros, que se entregan a cuatro columnas cuadradas de hormigón armado de 130 cm de lado.

²¹ DARIAS (1997).

La cúpula está organizada con 16 nervios interiores, con una sección aproximada de 20 x 20 cm. Estos nervios están armados con 2ø20 y 2ø12, en sus caras vistas se ha ejecutado el revestimiento de mortero que simula el color y la textura de la piedra basáltica. De estos nervios, ocho se resaltan en la cara exterior con una función meramente decorativa. Sobre estos nervios apoyan las láminas, las cuales constan de un núcleo de hormigón de 8 cm, armadas con barras de ø6 horizontales separadas 10 cm. y barras de Ø6 verticales cada 20 cm. aproximadamente. La sección completa de estas láminas, cuyo espesor total es de 17 cm, consta de dos capas de ladrillo macizos cogidos con mortero de yeso²².

El tambor tiene una altura total de 8.50 metros, el primer tramo superior, de cinco metros y 30 centímetros de espesor, está compartimentado por 24 paños separados por pilastras de 35x30, de los que en 16 se insertan ventanales y en ocho, paños macizos. En la base del tambor, con un espesor total de 53 cm, una solución de doble hoja de hormigón de 17 centímetros de hormigón cada una, entre las que se ejecutó un relleno de piedras. El hormigón, según ensayos tiene una resistencia de 4.9 N/mm². En la coronación de este tambor se sitúa el anillo de tracción armado con 4 barras de ø26, empalmadas mediante roblones metálicos²³.

El proceso constructivo, a partir del tambor y del anillo de tracción, fue la ejecución de los 16 nervios, los cuales fueron encofrados, probablemente con encofrados metálicos, sobre los que se vertía el mortero exterior de color gris, asemejando el color de la piedra basáltica. Posteriormente se colocaban las armaduras, las cuales no disponían de cercos u otras barras auxiliares para mantener su posición, lo que probablemente se resolvió vertiendo el hormigón por capas horizontales y colocando las armaduras sobre estas.

SECCION HORIZONTAL CUPULA

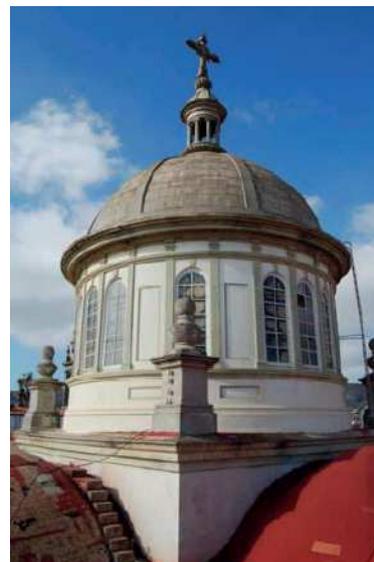
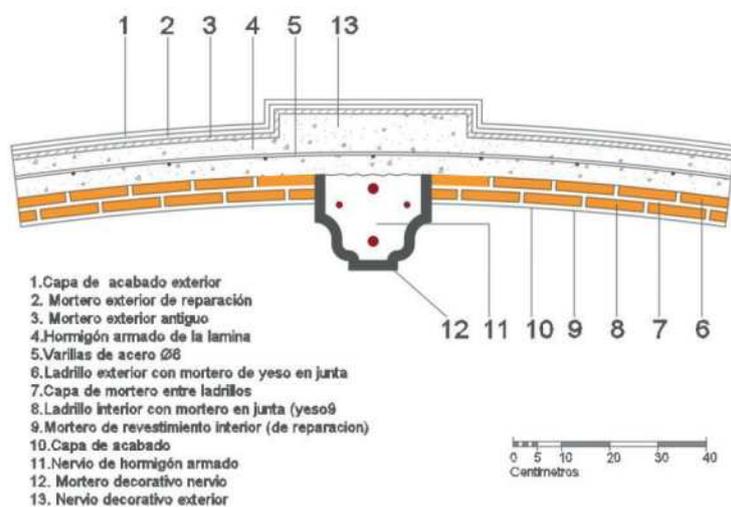


Figura 8a. Detalle de la cúpula Dibujo del autor. Figura 8b. Fotografía exterior de la cúpula.²⁴

Terminados los nervios, las láminas de hormigón armado se encofraron con ladrillos macizos tomados con mortero de yeso, material que por su rápido fraguado permite la ejecución de este encofrado sin precisar otros elementos auxiliares.

22 TANNER (2008), p. 15.

23 TANNER (2008), p. 15.

24 TANNER (2008).

Investigación y estudio de los materiales de la Catedral de La Laguna realizada por el Instituto Eduardo Torroja

El Instituto Eduardo Torroja realizó un importante estudio del estado de la estructura y de sus materiales entre 1998 y 2008. Como conclusiones más destacadas en relación a la calidad de los hormigones utilizados, y a pesar de la gran disparidad de resistencias obtenidas, se puede resaltar que los distintos hormigones y morteros utilizados ofrecen una cierta homogeneidad analizados por elementos: columnas, arcos, nervios o bóvedas.

Las resistencias de los hormigones obtenidos por el ITEcc según el elemento estructural son:

Tabla 1. Resistencias.

Elemento	Resistencia en MPa
Nervios y arcos	3 a 5
Columnas	8 a 20
Bóvedas	8 a 24,8
Arranque nervios	20
Laminas de cúpula	3
Nervios de cúpula	6,8
Muros en tambor	4,9

La corrosión de la armadura motivada por la entrada de agua desde las cubiertas afectaron fundamentalmente a arcos, nervios, capiteles y zonas más bajas de las bóvedas. Los hormigones de las bóvedas se elaboraron con mezclas de cal y cemento portland. En los morteros y en los microhormigones se encontraron grasas utilizadas como aditivos para mejorar sus propiedades: estas grasas eran probablemente de cerdo, una técnica tradicional para los morteros de cal utilizada en las islas ²⁵.

Estudio de los materiales de la Catedral a partir de los restos de capiteles recuperados de la demolición

La conservación de algunos de los restos de los capiteles y arcos procedentes de la demolición nos ha permitido realizar un levantamiento de la geometría de estas piezas, de sus armados, tanto en posición como en diámetros y extraer testigos de los mismos para proceder a su ensayo. Esta última tarea, fue realizada por un laboratorio acreditado. Se extrajeron seis testigos de hormigón y dos testigos de armaduras. De los testigos de hormigón obtenidos se realizaron bandas extenso-métricas para determinar resistencia y módulos de deformación longitudinal y transversal, además de ensayos de porosidad, determinación contenido en cloruros, densidad y carbonatación.

Los resultados de los testigos nos indican, en relación a la resistencia una gran variabilidad de los mismos. Los testigos de la columna de crucero 1 dan valores de resistencia muy bajos y distintos de la columna de crucero 2. La diferente resistencia entre columnas podría justificarse por una dosificación distinta y por tanto poco controlada: distintas relación agua

²⁵ DORREGO, LUXÁN, TANNER (2006).

cemento o cantidad de cemento en cada amasada. La diferente resistencia en testigos de la misma columna, por lo tanto con la misma dosificación dada la proximidad de la localización de testigos, podría deberse a una diferente compactación, criterio que podría refrendarse con los valores de densidad muy bajos, o por el contrario su alta porosidad.

Tabla 2. Resultados de los ensayos restos de la Catedral.

Testigo	1	2	3	4	5
Elemento	Arco total Crucero	Pilar crucero 1	Pilar crucero 1	Pilar crucero 2	Pilar crucero 2
Diámetro (mm)	95	95	95	95	70
Longitud (mm)	190	155	192	179	132
Sección (mm ²)	7088	7088	7088	7088	3864
Resistencia Mpa	15,73	11,08	12,53	22,47	25,81
Densidad seca kN/m ³	20,14	19,18	18,90	23,73	22,51
Absorción (%)	2,69	4,76	4,54	0,92	1,32
Porosidad (%)	5,57	9,60	9,02	2,20	2,99
Humedad (%) ambiente	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Contenido cloruros (% peso hormigón)	0,10	0,12	0,09	0,09	0,11

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CÚPULA, TAMBOR, ARCOS TORALES Y PILARES

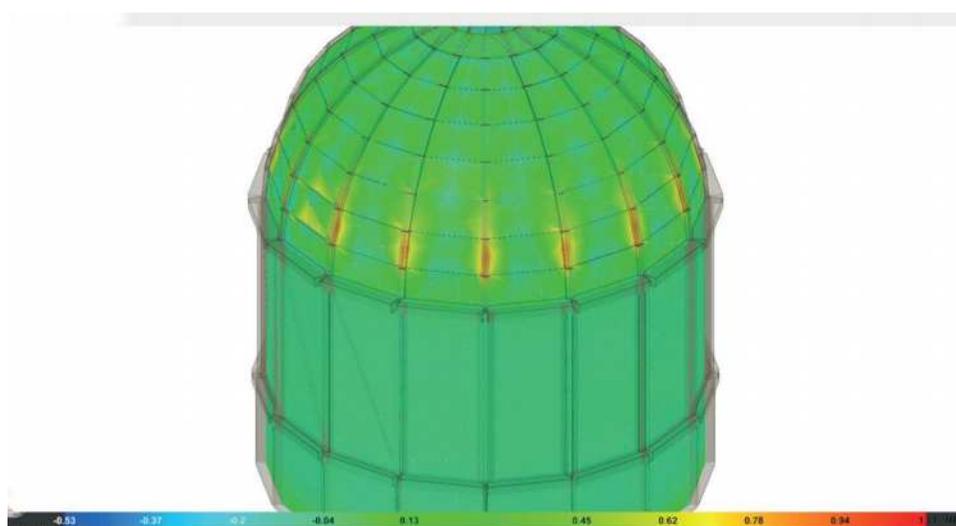


Figura 9. Imagen del modelo con las tensiones máximas. Elaboración propia.

La estructura del conjunto de la cúpula, esto es el cimborrio, la cúpula y la linterna se modelizaron en el software Cype3D, considerando las cargas verticales de peso propio de la estructura y los revestimientos teniendo en cuenta las resistencias y módulos de deformación de cada elemento, así como la geometría y dimensiones de cada pieza.

Con el programa se han podido obtener los desplazamientos y los valores de tensiones máximas en cada punto de la estructura.

En cuanto a las deformaciones se producen los valores máximos en la clave de la cúpula, debido al peso de la linterna, que estimamos esta en 22 toneladas. En cualquier caso, la rigidez de los 16 nervios permite que este desplazamiento sea razonablemente bajos.

En cuanto a las tensiones, las máximas de tracción se producen en el anillo de tracción de la cúpula y las de compresiones en la clave. Los esfuerzos de tracción están adecuadamente resueltos con la armadura del anillo de tracción, mientras que los de compresión que no superan los 2 Mpa, son valores bajos incluso para la baja calidad de los hormigones de esta lámina, con resistencias de 3 Mpa. Los arcos torales se analizaron con el programa Cype 3D, obteniendo las siguientes combinaciones de esfuerzos axiales y momentos flectores:

Tabla 3. Solicitaciones en los Arcos Torales del crucero.

	Nd en kN	Md en m.kN	Excentricidad en metros
Clave	403	+595.45	1.48
Riñones	1396	-775	0.56
Arranque	1608	-466	0.29

La sección de hormigón armado de ancho 50 y canto 75 centímetros, esta armada en su cara superior con 2Ø25 y en la cara inferior 3Ø25. La evaluación de estas secciones ha resultado positiva.

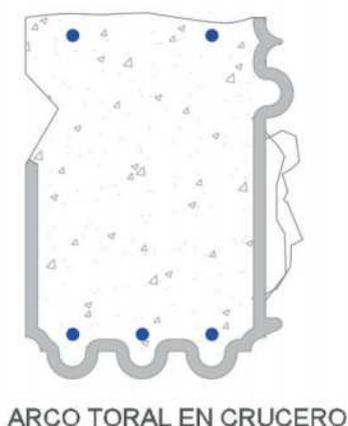


Figura 10a. Sección del toral, dibujo del autor. 10b. Imagen del arco demolido, fotografía del autor.

Los cuatro pilares del crucero, sobre los que descansa la cúpula y el tambor tienen un nivel de seguridad adecuado, ya que contando solo con la sección neta interior, esto descontado los

moldes exteriores y las zonas de hormigón bastardo, dicha sección, que representa un 30% de la sección total del pilar, es solicitada por una carga axil de 1179 kN, lo que produce unas tensiones de 3 Mega pascales valor inferior a la capacidad resistente de estos hormigones.

CONCLUSIONES

La catedral de La Laguna fue sin duda una obra pionera en el uso hormigón armado en España, coetánea con las primeras obras ejecutadas en este país y supuso la iniciación de esta tecnología en el ámbito de las Islas Canarias.

La obra supuso un reto técnico importante, con la dificultad añadida que pudo suponer la lejanía de las islas al continente y por la falta de recursos económicos disponibles. La adecuada formación y conocimientos prácticos del ingeniero militar Vallabriga, permitieron una adecuada optimización de los medios disponibles resaltando entre todos, la utilización de moldes prefabricados para las columnas que permitían conseguir un acabado adecuado, desechando sin gran coste las piezas mal ejecutadas antes de su colocación en obra, al tiempo que economizaban la utilización de encofrados y cimbras.

El falta de conocimientos sobre el nuevo material: falta de control en los recubrimientos, utilización de mezclas de cal y cementos portland en los hormigones, y una inadecuada compactación durante la ejecución, lo que ocasiono hormigones muy porosos, tuvieron como consecuencia un hormigón de una calidad baja, suficiente desde el punto de vista resistente, pero insuficiente desde el punto de vista de la durabilidad. El avanzado estado de carbonatación de los hormigones limitó la capacidad natural de estos para conservar las armaduras libres de corrosión. El clima húmedo de la Laguna y un incorrecto mantenimiento, con la utilización de yesos para reparar los trozos de recubrimiento que se iban desprendiendo por corrosión, aceleraron el proceso de degradación. Particularmente la cúpula era la parte más dañada, seguramente por ser la más expuesta a los agentes atmosféricos. Los análisis estructurales realizados permiten descartar problemas de resistencia o de falta de rigidez en la estructura.

La situación de deterioro y coste de la rehabilitación, obligo a la demolición de las cubiertas y los capiteles, si bien las columnas y muros originales se han conservado y sobre ellos se ejecutó la nueva cubierta, una réplica exacta de la original, pero esta vez construida con hormigones de mayor calidad armada con armaduras de fibra de carbono y reforzadas con fibra de vidrio.

BIBLIOGRAFÍA

- BURGOS NÚÑEZ, A. (2009). Los orígenes del Hormigón Armado en España. Ministerio de Fomento. Cedex-Cehopu.
- DARIAS, A., PURRIÑOS, T. (1997). Arte, religión y sociedad en Canarias, La catedral de La Laguna. Ayuntamiento de La Laguna.
- DORRENGO, F., LUXÁN, M.P., TANNER, P. y FERNÁNDEZ, V. (2006). Investigación y estudio del estado de conservación de la Catedral de La Laguna. Compendio de Investigación.
- FRAMPTON, K. (1999). Estudio sobre la cultura tectónica. Madrid: Akal.
- MÁRQUEZ ZARATE, J. M. (2005). La Catedral de la Laguna, modelos de Actuación. Revista Ars Sacra, nº33.

- RODRIGUEZ MOURE, J. (1914). Datos históricos del templo Catedral de Tenerife. Librería y Tipografía Católica. Santa Cruz de Tenerife.
- TANNER, P., CRUZ, M. y LUXÁN, M. (2008). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Informe 19.216-I. Análisis del estado actual y de los procesos de deterioro de la cúpula de la catedral de La Laguna.
- VV.AA. (1990). Cuadernos: In memoriam Jose Rodrigo Vallabriga. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

